昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, April 2006, 49(2): 219 – 229 ISSN 0454-6296

中华稻蝗全消化道内壁显微结构观察

张小民，郭亚平，许　晶，马恩波*

（山西大学生命科学与技术学院，太原　030006）

摘要：本文采用扫描仪和扫描电镜对中华稻蝗消化道内壁的细微结构进行了系统观察和研究。结果表明，中华稻蝗食道内壁由纵行脊组成，前端有齿。嗉囊包括两段，前段的一个小的膨大部分，由 V-形区和两侧的 V-形脊组成，只在前端内壁有齿；后段为一个大的膨大部分，由柳叶脊、扇形脊和不规则脊组成，脊的上缘有齿。前肠内壁的齿主要为单生齿，除贲门瓣上齿的齿尖指向前方外，全部齿的齿尖指向后方。后肠的前端为 12 个幽门瓣，内壁有齿。回肠和结肠由 6 条纵行脊组成，结肠内壁有齿。直肠的齿在除直肠垫外的直肠内壁上。后肠的齿主要为丛生齿，后肠除直肠内壁齿的齿尖指向附着环外，全部齿的齿尖指向后方。根据我们的观察，对前肠提出了新的分区。

关键词：中华稻蝗；消化道；脊；齿；形态学

中图分类号：Q964　　文献标识码：A　　文章编号：0454-6296(2006)02-0219-11

Microstructure of the inner alimentary canal in *Oxya chinensis* (Orthoptera: Acrididae)

ZHANG Xiao-Min, GUO Ya-Ping, XU Jing, MA En-Bo* (College of Life Science and Technology, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract: The microstructure of *Oxya chinensis* alimentary canal was systematically observed with scanner and scanning electron microscope. The results show that the inner walls of the esophagus consist of longitudinal ridges, with teeth at the front tip. The crop is composed of two parts. The front part has a small bulge, which is formed by V-shape belt and the V-shape ridges on either side of the belt. Teeth are seen only at the front tip of the inner walls. The rear part of the crop has a large bulge, which is composed of lance ridges, fan-shape ridges and irregular ridges. There are teeth on the top part of the ridges. The teeth in the inner walls of the foregut are mainly of single tooth. All the teeth point to the back except the ones on the stomodaeal valves, which point to the front. The front part of the proctodaeum consists of 12 pyloric valves, with teeth on the inner walls. The ileum and colon are composed of six longitudinal ridges, with teeth on the inner walls of the colon. There are teeth on the inner walls of the rectum except the rectal pad. The teeth of the proctodaeum are mainly tufted teeth, all pointing to the back except the ones in the inner walls of the rectum, which point to the attachment ring. A new scheme for zoning of foregut was proposed based on our observation.

Key words: *Oxya chinensis*; alimentary canal; ridges; teeth; morphology

消化系统是蝗虫赖以生存的最重要器官之一，从上个世纪初到今天，许多学者都对其进行了较为系统的研究。Tietz (1923) 研究了 *Dissosteria carolina* L. 的内部解剖结构；Nenyukov and Parfentev (1929) 对飞蝗消化系统的构造和消化程序进行过研究；Woodruff (1933) 研究过蝗虫的胃盲囊和中肠的上皮细胞；Stuart (1935) 对 *M. differentialis* 的马氏管及其附近的消化道进行了研究；Hodge (1936) 对 *Melanoplus differentialis* Thomas 进行了内部解剖和组织构造的研究；Brown (1937) 对 *Melanoplus bivittatus* 的围食膜进行了研究；Chauvin (1938) 对 *Schistocerca gregaria* 的消化道和组织进行了研究；Atherton (1941) 和 Riedel (1946) 都曾研究过两种蝗虫的内部解剖结构；Judd (1948) 做过蝗总科前肠外部解剖

基金项目：国家自然科学基金资助项目(30470219, 30570247)

作者简介：张小民，男，1961 年 7 月生，硕士，讲师，主要从事细胞生物学研究，E-mail: zhangxm@sxu.edu.cn; Tel.: 0351-7010599

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: maenbo2003@sxu.edu.cn

收稿日期 Received: 2005-07-25；接受日期 Accepted: 2006-02-21

特征的比较研究。Bryantsvea（1950）和 Williams（1954）等对蝗总科的前肠进行过研究。Albrecht（1953）著有飞蝗解剖一书；Muralirangan（1974）对分布在印度的蝗虫前肠内刺的分类特征进行过尝试性研究。Wagan（1986）等对蝗总科的前肠进行过研究。在国内，刘玉素和卢宝廉（1955）对 *Locusta migratoria manilensis*（Meyen）消化系统的解剖和组织学进行过研究。近年来郑哲民和席碧侠（1996）及席碧侠和郑哲民（1998，1999）对蝗虫前肠的形态及分类学价值进行了系统研究。甘雅玲和郭中伟（2002）对蝗虫消化系统的超微结构进行了观察。李兆英和郑哲民（2004）对螽斯消化道内壁进行了解剖及扫描电镜的比较研究。

迄今为止，对中华稻蝗 *Oxya chinensis* 消化道内壁的显微观察和研究尚未见报道。本文采用中华稻蝗为材料，通过扫描仪和扫描电镜观察的方法，对其消化道内壁进行了较为系统的研究，旨在为蝗虫分类学和形态学提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

所用材料为中华稻蝗成虫标本，于 2004 年 10 月及 2005 年 9、10 月采集于山西省太原市晋源区。

1.2 方法

将野外采集的成虫标本任意取雌虫 10 只，在 XTL-Ⅱ型照相体视显微镜下解剖，将消化道取出，剥离后肠的马氏管，0.2 mol/L 磷酸盐缓冲液冲洗，用 EPSON Perfection1200PHOTO 彩色图像扫描仪进行扫描，测量消化道各部分的长度，然后在解剖镜下沿蝗虫消化道腹面剪开，磷酸盐缓冲液洗去消化道内容物，将消化道内壁翻出并铺展于玻璃板上，再用扫描仪扫描；马上滴加 5% 戊二醛固定液，4℃下固定 2 h，1% 锇酸固定 1 h，经乙醇（浓度 35%、55%、75%、85%、95%、100%）梯度脱水，再经叔丁醇置换，LG-5 真空冷冻干燥机干燥，ION Sputter JEC-1100 溅射镀金，JSM-35CF 扫描电镜观察，照相。

2 结果与分析

2.1 中华稻蝗消化道的形态特征

中华稻蝗消化道的前肠（foregut，Fg）和后肠（proctodaeum，Pd）的内壁衬有几丁质的内膜，并且有齿，其肠壁细胞有色素的沉积，故使得前肠和后肠在不染色的情况下为棕褐色（图版Ⅰ：1，2，3）。中肠（midgut，Mg）无此结构，在光镜下看（不染色）中肠无色、膜质，在扫描电镜下看中肠内有一层围食膜（peritrophic membrane，Pm）（图版Ⅲ：2）。前肠和中肠通过贲门（cardia，Ca）相连，而后肠和中肠是通过幽门（pylorus，Py）相连（图版Ⅰ：2）。中华稻蝗消化道长 34 mm（平均值，以下同）；前肠 14.5 mm，占消化道总长度的 42.65%；中肠 7.1 mm，占消化道总长度的 20.88%；后肠 12.4 mm 占消化道总长度的 36.47%。

2.2 前肠的形态特征

中华稻蝗前肠部分包括以下几种结构（表 1；图版Ⅰ：1，2，3）：（1）食道（esophagus，Es），指直管部分；（2）嗉囊（crop，Cr），指食道后的膨大部分，包括两段，前段为一个小的膨大部分（small bulge，Sb），由 V 形区（V-shape belt，Vb）和两侧的 V 形脊（V-shape ridges，Vr）组成；后段为一个大的膨大部分（big bulge，Bb），由柳叶脊（lance ridges，Lr）、扇形脊（fan-shape ridges，Fr）和不规则脊（irregular ridges，Ir）组成；（3）前胃（proventriculus，Pr），指嗉囊后的杯形结构部分，由多列规则排列的纵行脊（longitudinal ridges）组成；（4）贲门（cardia，Ca），指前肠的最后端，由多条纵行脊和 6 个凸出于肠壁的 Y 形贲门瓣（stomodaeal valves，Sv）构成。前肠部分按 Muralirangan（1974）等划分为 4 区（zone），即 ZⅠ为食道，ZⅡ为嗉囊前段，ZⅢ为嗉囊，ZⅣ为前胃（砂囊），PV 代表贲门瓣。Muralirangan（1974）等所指的 ZⅡ为嗉囊前段，即指图版Ⅰ（2）中的柳叶脊部位（Lr），那么 ZⅠ就不仅仅是包括直管部分，还包括嗉囊前段的小的膨大（Sb）部分，故为描述方便，又考虑到 Muralirangan 等的划分，建议将前肠划分为 Es 为食道，仅指直管部分；Sb 为嗉囊前段小的膨大部分包括 V-形区和两侧的 V-形脊；Bb 为嗉囊后段大的膨大部分，包括柳叶脊、扇形脊和不规则脊；Pr 为前胃；Sv 代表贲门瓣。这种划分与 Muralirangan（1974）等的 4 区划分有所不同，但并不矛盾，即 ZⅠ为 Es 和 Sb，ZⅡ为 Bb 的柳叶脊部分（Lr），ZⅢ为 Bb 的扇形脊（Fr）和不规则脊（Ir）部分，ZⅣ为 Pr，PV 为 Sv。由于前肠各部位脊的数目和脊上齿的形态、数目可作为昆虫分类的指标，故这样的该划分可能更为精确。

表 1　前肠的形态特征

Table 1　Morphological characters of foregut

	纵行脊 Longitudinal ridges	V-形脊 V-shape ridges	柳叶脊 Lance ridges	扇形脊 Fan-shape ridges	不规则脊 Irregular ridges	Y-形脊 Stomodaeal valves	长度(平均值) Length (Average value)(mm)	占前肠比例 Proportion to foregut (%)
前肠 Foregut							14.5	100.0
食道 Esophagus	+						1.5	10.3
嗉囊 Crop		+	+	+	+		7.0	48.3
前胃 Proventriculus	+ + +						4.0	27.6
贲门 Cardia	+ +					+	2.0	13.8

+，+ +，+ + + 表示(脊或齿)的数量级别。下同。
The plus signs show degree of amount (ridges or teeth). The same for the following tables.

2.2.1　食道：食道(esophagus，Es)位于咽后，扫描仪下观察(图版Ⅰ：1，2，3)为棕色，直管状，长约为 1.5 mm，有 6 ~ 8 条较为明显的纵肌褶，形成平行规则排列的纵行脊(longitudinal ridges)。扫描电镜下看，该区只在前端有稀少的齿(图版Ⅱ：1)，齿的直径(指齿基部直径，以下同)2.5 ~ 3 μm，长 5 ~ 50 μm 不等；其余部分无齿。全部齿尖指向后方。

2.2.2　嗉囊：嗉囊(crop，Cr)位于食道之后，扫描仪下观察(图版Ⅰ：1，2，3)为棕色，长约为 7 mm。从食道后的膨大部分开始到前胃，包括两部分，在其前段有一个长约为 1.5 mm 左右的一个较小的膨大部分(Sb)为嗉囊前段，从侧面看该部分稍微向腹面方向凸起，嗉囊后段为一较大的膨大(Bb)，从侧面看，该部分稍微向背面方向凸起，使得嗉囊部分为"S"形。在消化道的腹部有一腹沟(abdominal groove，Ag)，背部有一背凸(dorsal hump，Dh)(图版Ⅰ：3)。背凸是嗉囊前端的多条 V 形排列的脊在嗉囊中部的汇集点(图版Ⅰ：2)，该汇集点向消化道背部隆起形成背凸。腹沟是由食道延伸的一条粗的纵肌，在嗉囊前段 1/3 处分成两条，形成"Λ"形，"Λ"形脊的汇集点向消化道内凸起，形成腹沟(Ag)(图版Ⅰ：3)，两条"Λ"形脊一直延伸到前胃。腹沟和背凸是嗉囊前段各个方向排列的脊的汇集点。

嗉囊前端的小的膨大部分包括一个 V-形区(Vb)(图版Ⅰ：2，3)，V 形区中间有横纹，故与食道的平行规则排列的纵行脊形成明显的区别。在 V 形区两侧各有 8 列呈 V 形排列的脊，称 V-形脊(V-shape ridges，Vr)，V 形脊的汇集点在嗉囊的中部，向背面凸起，形成背凸。V 形区前端有少量的齿，齿直径 2.5 ~ 3 μm，长 5 ~ 10 μm。V 形脊上无齿。

在 V 形脊的两侧，各有 1 列中间伸展的脊，呈对称柳叶形(图版Ⅰ：2，3；Ⅱ：2)，称柳叶脊(lance ridges，Lr)，柳叶脊中间伸展面上有许多齿(图版Ⅱ：3)，排列不规则，中间多，两边逐渐减少，齿的直径为 8 ~ 10 μm，长 10 ~ 25 μm。

柳叶脊的两侧约有 16 ~ 20 列脊，各列脊汇集于嗉囊中部形成一个较大的隆起(背凸)(Dh)(图版Ⅰ：3)，使得 16 ~ 20 列脊呈规则的扇形排列(图版Ⅱ：4)，称扇形脊(fan-shape ridges，Fr)，而隆起下部接近前胃部分大约有 6 ~ 8 列排列极不规则的脊(图版Ⅱ：5)，称不规则脊(irregular ridges，Ir)。第一列扇形脊为 3 行齿，后 3 列脊为 2 行齿，以后各列脊为 1 行齿(图版Ⅱ：6)，前 6 ~ 8 列脊上齿的直径 8 ~ 10 μm，长为 10 ~ 25 μm。扇形脊的齿，从前向后由多而长向少而短逐渐转变，平均直径 3.5 ~ 5 μm，长度 5 ~ 10 μm，到不规则脊上的齿的直径为 0.5 ~ 1 μm，长为 1 ~ 2 μm。接近前胃几乎无齿。全部齿尖指向后方。

2.2.3　前胃：前胃(proventriculus，Pr)，长 4 mm，扫描仪下观察为棕色(图版Ⅰ：2，3)，杯形，前粗后细，前端大约为 42 ~ 46 列纵行脊平行规则排列，后端大约 24 ~ 30 列纵行脊，前胃的脊由前向后有逐渐合并的现象，每列脊上规则排列着许多凸起，每个凸起大约长 120 μm，宽 80 μm，在每个突起的后端有 1 ~ 2 个齿，两个齿多为前后排列(图版Ⅱ：7)，齿的尖端向肠壁方向有一点弯曲，齿的直径为 10 ~ 15 μm，长为 10 ~ 40 μm，全部齿尖指向后方。在前胃接近贲门瓣的部分各列脊呈不规则形，该部分无齿。

2.2.4　贲门瓣：贲门(cardia，Ca)位于前肠的最后端，伸入中肠，长约为 2 mm。从扫描仪下观察(图版

Ⅰ：2, 3)，中华稻蝗的贲门为深棕色的 24 ~ 30 列纵行脊，其中有 6 个凸出于肠壁的 Y 形贲门瓣(stomodaeal valves, Sv)，每个 Y 形贲门瓣长约 1.6 mm，分上下两部分，上半部分(superior, Su)为两条臂，下半部分 (inferior, In)为单条臂，上半部分与下半部分的比例约为 1∶1.5。从扫描电镜下看(图版Ⅱ：8)，Y 形贲门瓣凸出于肠壁约 200 ~ 250 μm，最高点为三臂交叉点。每条臂的凸起部分由下向上逐渐变窄，每条臂接近肠壁的宽度约为 200 μm，向上逐渐变窄，最上缘的宽度约为 100 μm，其上有齿(图版Ⅲ：1)，齿的直径约为 1 ~ 2 μm，长约为 1 ~ 2 μm。齿分为尖和钝两种，尖齿和钝齿的数量比约为 1∶1。全部齿尖指向前方。

2.3 中肠的形态特征

中肠(midgut, Mg)在贲门瓣和幽门瓣之间，长 7.1 mm，在扫描仪下观察无色(图版Ⅰ：1, 2, 3)，为一层黏膜状，与其他肠壁有较大的区别。在电镜下，可看到部分围食膜(peritrophic membrane, Pm)(图版Ⅲ：2)。

2.4 后肠的形态特征

后肠包括幽门瓣(pyloric valve, Pv)、回肠(ileum, Il)、结肠(colon, Co)、直肠(rectum, Re)和肛门(anus, An)，光镜下看除 6 个直肠垫(rectal pad, Rp)无色，为半透明的膜质外，后肠其他部分颜色为棕色(表 2；图版Ⅰ：1, 2, 3)。

表 2 后肠的形态特征

Table 2 Morphological characters of proctodaeum

	纵行脊 Longitudinal ridges	齿 Teeth	长度(平均值) Length (Average value)(mm)	占后肠的比例 Proportion to proctodaeum (%)
后肠 Proctodaeum			12.4	100.0
幽门 Pylorus	12	+	0.4	3.0
回肠 Ileum	6		3.2	25.0
结肠 Colon	6	+ + +	3.0	24.0
直肠 Rectum	6	+	5.0	40.0
肛门区 Musculus sphincter ani	多列 Multi-columns		1.0	8.0

2.4.1 幽门瓣：中华稻蝗的幽门(pylorus, Py)是由 12 个幽门瓣(pyloric valve, Pv)组成，在扫描仪下观察为深棕色(图版Ⅰ：2, 3)，每个幽门瓣为不规则的椭圆形，平行排列，其外侧着生有 12 丛马氏管，电镜下看幽门瓣凸出于肠壁呈橄榄球形(图版Ⅲ：3)，长 300 ~ 400 μm，宽 100 ~ 150 μm，幽门瓣内壁上有齿(图版Ⅲ：4)，多为丛生齿(tufted teeth)，每个丛生齿由 2 ~ 8 个单齿组成，极少数为单生齿(single tooth)。单个丛生齿较单生齿短和细。单生齿直径约为 2 μm，长 5 μm。单个丛生齿直径约为 1 μm，长 2 ~ 3 μm。全部齿尖指向后方。

2.4.2 回肠：回肠(ileum, Il)位于幽门瓣之后，呈杯状，向后逐渐变细，在扫描仪下观察为棕色(图版Ⅰ：2, 3)，由平行排列的 6 条纵行脊组成，长约 3.2 mm。回肠以幽门瓣为与中肠的分界线，而与结肠的分界线是接近最细的部位(图版Ⅰ：1, 2, 3)，大约在幽门瓣到直肠的中间位置。不同个体有一些差别。回肠内壁无齿。回肠的纵行脊较结肠的粗(图版Ⅰ：2, 3)。

2.4.3 结肠：结肠(colon, Co)位于回肠之后，在与直肠相连处有一明显的弯曲(图版Ⅰ：1)。结肠长约 3 mm，在正常情况下是消化道除食道外最细的部位，但展开后较食道宽得多(图版Ⅰ：2, 3)。在扫描仪下观察为棕色(图版Ⅰ：2, 3)，多数个体其颜色较回肠稍微深一些，邹褶多一些，内壁由平行排列的 6 条纵行脊组成，6 条纵行脊是由回肠延伸而来，但进入结肠后明显变细(图版Ⅰ：2, 3)。从扫描电镜看，结肠内壁不像回肠平展，邹褶较多。其内壁上有齿，齿的分布规律为由前向后齿的大小和密度逐渐增大和增多，齿的丛生数量也增多。结肠前端的每个丛生齿的丛生数 2 ~ 5 个(图版Ⅲ：5)，丛生齿是由单生齿并行排列而成，丛生齿的每个单齿直径 0.5 ~ 1 μm，长 1 ~ 3 μm，单生齿直径 1 ~ 2 μm，长 5 μm。结肠中部的丛生齿的丛生数 2 ~ 8 个，单个丛生齿直径 0.5 ~ 3 μm，长 2.5 ~ 5 μm，单生齿直径 1 ~ 3 μm，长 5 ~ 8 μm。结肠前段的丛生齿和幽门瓣内壁上的丛生齿的形态相同，丛生齿是由单生齿并行排列而成(图版Ⅲ：4, 5)，但结肠后端的丛生齿和单生齿的形态较为特殊(图版Ⅲ：6)，每个单生齿的基部膨大，直径 3 ~ 5 μm，长约为 5 ~ 8 μm，而丛生齿的每丛的后端融合在一起，只有前端 1/2 ~ 1/3 部分游离，最大的为每丛 10 个单齿合并在一起，宽度约为 8 μm，长度约为 8 μm。接近直肠垫齿逐渐变小，丛生数量减少(图版Ⅲ：7)，齿的直径约为 0.5 μm，长 1 μm。

2.4.4　直肠：结肠后膨大的部分为直肠（rectum，Re），从扫描仪下观察，结肠和直肠的连接处有一明显的弯曲（图版Ⅰ：1），称直肠弯（rectal curve，Rc），这一弯曲是由于通过结肠的食物进入直肠的入口在直肠的侧面所致（图版Ⅰ：1）。直肠最大特点是有 6 条结肠延伸下来的棕色纵肌（图版Ⅰ：2，3），在每条棕色纵肌之间有 6 个无色，膜质的部分，即直肠垫（rectal pad，Rp）。当解剖开看，每个直肠垫的周围有一圈棕色环带（图版Ⅰ：2，3），Marshall（1945）称之为附着环（attachment ring，Ar），使 6 个直肠垫形成 6 个规则排列的长卵形，直肠垫长约为 5 mm。扫描电镜下看，6 个附着环在每个直肠垫周围形成明显的环带（图版Ⅲ：7，8），即附着环，该环带有明显加厚的凸起，附着环直径约为 15 μm，几丁质化，连续地围绕着每个直肠垫。直肠垫表面无齿，但附着环外侧的直肠部分有齿（图版Ⅲ：7），多为丛生齿，齿的直径约为 0.5 μm，长 1 μm，齿尖指向附着环。

2.4.5　肛门区：从扫描仪下观察（图版Ⅰ：2，3），直肠垫后端为肛门括约肌（musculus sphincter ani，Ma），表面光滑，无齿（图版Ⅲ：8）。由直肠延伸的 6 列棕色纵肌束进入肛门区时明显加粗。扫描电镜下看，6 列纵肌的每一列在肛门括约肌区都转变成多列（图版Ⅲ：8），肛门区长约为 1 mm。

2.5　消化道内壁齿的类型

中华稻蝗消化道内壁的齿在不同的部位的分布的特点是：前肠内壁上的齿为单生齿（single tooth），而后肠内壁上的齿主要为丛生齿（tufted teeth）（表 3）。齿尖的方向是贲门瓣上的齿的齿尖指向前方，直肠内壁上的齿的齿尖指向附着环，而消化道其他部位齿的齿尖全部指向后方。从大小来看，前肠的齿约比后肠的齿大 10 倍以上。

表 3　消化道内壁齿的类型

Table 3　The type of teeth of alimentary canal

	单生齿 Single tooth	纵生齿 Tufted teeth
前肠 Proventriculus	+ + +	
中肠 Mid gut		
后肠 Proctodaeum	+	+ + +

2.5.1　前肠齿的分布和大小：中华稻蝗前肠除食道中后段和 V 形脊上无齿外，几乎在前肠的内壁都布满了齿。但各部位齿的密度、大小和形态有所差别，作用也不相同（表 4）。

2.5.2　后肠内壁齿的分布和大小：中华稻蝗后肠包括幽门瓣、回肠、结肠、直肠和肛门，后肠的齿主要分布在幽门瓣、结肠和直肠（除直肠垫以外的）部分（表 5）。

表 4　前肠齿的特征

Table 4　Morphological characters of teeth on foregut

		齿 Teeth	齿的直径 Tooth diameter (μm)	齿的长度 Tooth length (μm)	齿尖方向 Direction of teeth
食道 Esophagus		+	2.5 – 3.0	5 – 50	向后 Backward
嗉囊 Crop	V-形区 V-shape belt	+	2.5 – 3.0	5 – 10	向后 Backward
	V-形脊 V-shape ridges				
	柳叶脊 Lance ridges	+ + +	8 – 10	10 – 25	向后 Backward
	扇形脊 Fan-shape ridges	+ +	3.5 – 5.0	5 – 10	向后 Backward
	不规则脊 Irregular ridges	+	0.5 – 1.0	1 – 2	向后 Backward
前胃 Proventriculus		+ + +	10 – 15	10 – 40	向后 Backward
贲门 Cardia		+ +	1 – 2	1 – 2	向前 Forward

表 5　后肠齿的特征

Table 5　Morphological characters of teeth on proctodaeum

	齿 Teeth	齿的直径 Tooth diameter (μm)	齿的长度 Tooth length (μm)	齿尖方向 Direction of teeth
幽门 Pylorus	+	1	2 – 3	向后 Backward
回肠 Ileum				
结肠 Colon	+ + +	0.5 – 3	2.5 – 5	向后 Backward
直肠垫 Rectal pad				
直肠 Rectum	+	0.5	1	垂直于消化道纵轴 Vertical to the longitudinal axis

3　讨论

3.1　研究方法

许多学者对直翅目昆虫前肠的研究，其方法是按 Albrecht（1953）的方法游离出前肠，然后制成封片，并按 Muralirangan（1974）等的划分指标把前肠分为 4 区，即 ZⅠ为食道；ZⅡ为嗉囊前段；ZⅢ为嗉囊；ZⅣ为前胃（砂囊），PV 代表贲门瓣。本文因要将扫描仪所用的材料用于扫描电镜制样，并对照研究结果，故从活体标本取出消化道，将后肠的马氏管剥离，磷酸缓冲液清洗，在扫描仪下扫描（图版Ⅰ：1），

可看到消化道的全貌，然后从腹沟处剖开，磷酸缓冲液清洗后，不染色，将消化道内壁翻出，直接铺展于扫描仪玻璃板上进行扫描（图版Ⅰ：2），故能看到自然状态下的结构，并直接将该样品用于扫描电镜制样。从所得扫描图上看与其他学者的（从背凸处剖开）有一些区别，但并不矛盾。如果从消化道的侧面剖开（图版Ⅰ：3），既可以看到腹沟，又能看到背凸，故不论从消化道的腹部或是背部解剖同样都能按 Muralirangan 等将前肠进行分区，本文是对前人研究的一个补充。再者，由于蝗虫消化道的肠壁细胞有色素沉着，并且有规则排列的脊，故可以直接在扫描仪下观察消化道内部的结构，从而为蝗虫消化道的形态学研究提供了一个简单的方法，本研究同时可以将扫描仪的图像用于扫描电镜的定位研究，也为准确定位蝗虫消化道各部位的超微结构提供了可靠的技术手段。

3.2 前肠内壁的形态特征与功能

中华稻蝗前肠的形态特征见表 1。食道为直管状，长度约为前肠的 10%，由 6～8 列纵行脊组成，食道主要是食物通过的一个管道，故对食物几乎没有加工作用。食道有较稀少的齿（表 4），主要分布于直管部分的前端的内壁（图版Ⅱ：1），前端的齿虽然稀少，但是消化道中最长的齿，可能有阻止食物倒流的作用。

嗉囊是从 ZⅠ 后的膨大部分开始到前胃，长度约为前肠的 50%，由多方向的脊组成（图版Ⅰ：2，3），包括 V 形脊、柳叶脊、扇形脊和不规则脊，并且在腹部有一腹沟，背部有一背凸，腹沟和背沟是嗉囊前段各个方向排列的脊的汇集点（图版Ⅰ：3），这种结构使得嗉囊既有强大的收缩力，又有良好的伸缩性，可使食物向多方向蠕动，同时可以较多的储存食物。嗉囊的齿主要集中在柳叶脊和扇形脊上，是消化道的齿分布最为密集的部位（表 4），也是消化道皱褶最多的部位，其功能是通过嗉囊的收缩，使食物向多方向蠕动，从而使食物在嗉囊中被强有力的挤压、研磨和下推。

前胃是由规则排列的纵行脊组成，长度约为前肠的 27%，每条脊上有许多规则排列的凸起，每个凸起的后端有 1～2 个齿，齿的尖端向肠壁方向有一点弯曲（图版Ⅱ：7），是消化道内唯一有弯曲的齿，也是消化道内较长和分布较为密集的齿，其功能主要是搅拌和研磨食物，使食物充分与消化液混合，同时有将食物下推的作用。

中华稻蝗前肠的最后端为贲门，长度约为前肠的 13%，有 6 个凸出于肠壁的 Y-形结构，Tietz (1923)称之为贲门瓣，其上有齿。刘玉素和刘宝廉(1955)也观察到 *Locusta migratoria manilensis* (Meyen)贲门瓣向消化道的一面有数目较少的小刺(spinule)，并认为有协助磨碎食物的功能。中华稻蝗 6 个 Y 形贲门瓣凸出于肠壁，正常情况下合拢，形成漏斗形，又由于内壁上齿的齿尖方法指向前方，故该结构可较好的阻止未消化好的食物通过。由于贲门瓣的后端伸入到中肠，又收缩的较细，而中肠的收缩力远不如前肠，故这种结构又能较好地阻止食物倒流。6 个 Y 形贲门瓣内壁上有齿是前肠上最小的齿（表 4），分布密集，全部齿尖指向前方，这也是消化道内壁上唯一齿尖指向前方的齿，故该齿有协助阻止未消化好的食物通过的功能。

中华稻蝗前肠的齿全部为单生齿(single tooth)，分布最密集的部分为嗉囊。齿尖所指的方向除贲门瓣上的齿的齿尖指向前方外，前肠全部齿的齿尖指向后方。

3.3 后肠内壁的形态特征与功能

刘玉素和刘宝廉(1955)对东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* (Meyen)后肠的小刺进行过观察和描述，认为后肠的小刺分布在回肠、结肠和直肠垫间和直肠末段的内膜上，并且这些小刺和前肠内膜的完全不同，它们是一丛一丛的，每丛刺的数目是 5～6 个。中华稻蝗后肠齿的形态特征见表 5。中华稻蝗后肠的齿分布在幽门瓣、结肠和直肠垫间的内壁上，回肠内壁无齿，后肠的齿主要为丛生齿，也有少数单生齿，但结肠后端的齿较为特殊，单生齿基部膨大，而丛生齿的基部融合在一起（图版Ⅲ：6）。

中华稻蝗后肠的形态特征见表 2。中华稻蝗有 12 个幽门瓣，凸出于肠壁，长度约为后肠的 3%，这种结构可调节食物通过的速度，其上有齿，多数为丛生齿，全部齿尖指向后方。幽门瓣上的齿主要是协助调节食物通过的速度，对消化和吸收后的食物有下推的作用。

回肠和结肠都是由 6 列较粗的肌褶组成，回肠和结肠加在一起的长度约为后肠的 50%，但结肠较回肠细，并且结肠内壁有齿，多为丛生齿。也是后肠齿分布最为密集的部位（表 5）（图版Ⅲ：7），其后端的齿有特化现象，主要作用是通过肠的蠕动，来促进食物通过的速度，即下推食物。

直肠明显变粗，如果加上肛门区，其长度约为后肠的 50%，结肠和直肠的连接处有一弯曲，称直肠弯(Rc)（图版Ⅰ：1），这一弯曲是由于通过结肠的食

物进入直肠的入口在直肠的侧面所致(图版Ⅰ：1)，而不是由于结肠本身的弯曲。又由于结肠的直径比直肠小的多，故该结构可较好的阻止直肠中消化吸收后的物质的倒流。6 个直肠垫无色，膜质，每个直肠垫的周围有一圈附着环使六个直肠垫固定于内皮细胞上。6 个直肠垫之间的 6 条纵行脊是由回肠和结肠延伸而来，贯穿整个后肠，这种结构使直肠既有较强的收缩力，又有较好的伸展性，并且在直肠垫周围附着环的外侧有齿，齿尖指向附着环，垂直于消化道纵轴，这种结构既可储存消化吸收后的物质，又可使其在直肠中被挤压，并转变成粪便，而内壁上的齿也有协助挤压粪便成型的功能，故中华稻蝗粪便的形状与直肠部分(Re)的形状一样(图版Ⅰ：1)。

中华稻蝗后肠的齿主要为丛生齿，分布最密集的部分为结肠。齿尖所指的方向除直肠上的齿的齿尖垂直于消化道纵轴外，后肠全部齿的齿尖指向后方。

参考文献(References)

Albrecht FO，1953. The Anatomy of the Migratory Locust. The Athlone Press，University of London. 118 pp.

Atherton RF，Riedel FA，1941. Visceral anatomy of two American lubber grasshoppers，with special reference to digestive and respiratory systems. *Univ. Colo. Stud.*，A(26)：128 – 130.

Brown AWA，1937. A note on the chitinous nature of the peritrophic membrane of *Melanoplus bivittatus* Say. *J. exp. Biol.*，14：252 – 253.

Bryantseva IB，1950. Structure of the foregut in insects of the Orthopteroid complex. *Ent. Oboz.*，31：132 – 141. (In Russian)

Chauvin R，1938. Anatomie et histologie du tube digestif de *Schistocerca gregaria*. *Bull. Soc. Hist. nat. Aft. N.*，28：488 – 499.

Gan YL，Guo ZW，2002. The ultrastructure of grasshopper. *Journal of Chinese Electron Microscopy Society*，21(5)：582 – 583. [甘雅玲，郭中伟，2002. 蝗虫消化系统的超微结构，电子显微学报，21(5)：582 – 583]

Hodge C，1936. The anatomy and histology of the alimentary tract of the grasshopper，*Melanoplus differentialis* Thomas. *J. Morph.*，72：203 – 211.

Judd WW，1948. A comparative study of the proventriculus of orthopteroid insects with reference to its use in taxonomy. *Can. J. Res.*，26(2)：93 – 161.

Li ZY，Zheng ZM，2004. Morphological characters on the alimentary canal of four species of katydids (Orthoptera，Phaneropteridae). *Acta Zootaxonomica Sinica*，29(3)：430 – 433. [李兆英，郑哲民，2004. 四种露螽消化道内壁的电镜观察. 动物分类学报，29(3)：430 – 433]

Liu YS，Lu BL，1955. On the anatomy and histology of the digestive system of the Asiatic migratory locust，*Locusta migratoria manilensis* Meyen. *Acta Entomologica Sinica*，5(3)：245 – 260. [刘玉素，卢宝廉，1955. 亚洲飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* Meyen 消化系统的解剖和组织构造. 昆虫学报，5(3)：245 – 260]

Marshall，WS，1945. The rectal sac of the red-legged grasshopper，*Melanoplus femur-rubrum* DeGeer. *Ann. Ent. Soc. Amer.*，38：461 – 471.

Muralirangan MC，1974. Taxonomical significance of the foregut armature in some Indian Acridoidea (Orthoptera). *Oriental Insects*，8(2)：119 – 145.

Nenyukov DV，Parfentev IA，1929. Digestive process and structure of intestine in the migratory locust. *Plant. Prot. Leningrad.*，6：21 – 37. (In Russian)

Riedel FA，1946. Connective tissue pattern in the ventriculus of certain lubber grasshoppers. *Ann. Ent. Soc. Amer.*，39：298 – 303.

Stuart RR，1935. The anatomy and histology of the Malpighian tubules and the adjacent alimentary canal in *Melanoplus differentialis*. *J. Morph.*，58：173 – 188.

Tietz HM，1923. The anatomy of the digestive system of the Carolina locust (*D. carolina* L.). *Ann. Ent. Soc. Amer.*，16：256 – 273.

Wagan MS，1986. Anatomy and histology of the alimentary canal of *Chrotogonus trachypterus* (Blanchard). *Pak. J. Zool.*，18(4)：411 – 416.

Williams，LH 1954. The feeding habits and food preferences of Acrididae and the factors which determine them. *Trans. Roy. Entomol. Soc. London*，105：423 – 454.

Woodruff BH，1933. Studies on the epithelium lining the caeca and mid-gut in the grasshopper. *J. Morph.*，55：53 – 80.

Xi BX，Zheng ZM，1998. Foregut armatures of grasshoppers and their taxonomic significance (Orthoptera：Catantopidae). *Entomotaxonomia*，20(4)：239 – 244. [席碧侠，郑哲民，1998. 蝗虫前肠形态及其在分类学上的意义(直翅目：斑腿蝗科). 昆虫分类学报，20(4)：239 – 244]

Xi BX，Zheng ZM，1999. A comparative study on the foregut armature of four species of grasshoppers (Orthoptera：Catantopidae). *Acta Zootaxonomica Sinica*，24(4)：380 – 383. [席碧侠，郑哲民，1999. 四种蝗虫前肠形态的比较研究(直翅目：斑腿蝗科). 动物分类学报，24(4)：380 – 383]

Zheng ZM，Xi BX，1996. Foregut armatures of grasshoppers and their taxonomical significance，1. Pamphagidae，Chrotogonidae and Pygmorphidae. *Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition)*，24(4)：61 – 67. [郑哲民，席碧侠，1996. 蝗虫前肠形态及分类学价值的研究Ⅰ. 癞蝗科、瘤锥蝗科和锥头蝗科. 陕西师范大学学报(自然科学版)，24(4)：61 – 67]

(责任编辑：袁德成)

图版说明 Explanation of Plates

图版Ⅰ Plate Ⅰ

1：**消化道扫描图** Scanning image of alimentary canal（7×）. Scale bar = 3 mm.

Ag：**腹沟** Aabdominal groove；An：**肛门** Anus；Bb：**嗉囊后段的一个大的膨大部分** Big bulge；Co：**结肠** Colon；Cr：**嗉囊** Crop；Es：**食道** Esophagus；Il：**回肠** Ileum；Mg：**中肠** Midgut；Pr：**前胃** Proventriculus；Rc：**直肠弯** Rectal curve；Re：**直肠** Rectum；Sb：**嗉囊前段的一个小的膨大部分** Small bulge.

2：**从腹面剖开的消化道内壁扫描图** The inner walls of alimentary canal：cross-section from the belly（7×）. Scale bar = 3 mm.

Ca：**贲门** Cardia；Fr：**扇形脊** Fan-shape ridges；Ir：**不规则脊** Irregular ridges；Lr：**柳叶脊** Lance ridges；Ma：**肛门括约肌** Musculus sphincter ani；Py：**幽门**（pylorus）；Rp：**直肠垫** Rectal pad；Vb：Ⅴ-**形区** Ⅴ-shape belt；Vr：V-**形脊** V-shape ridges.

3：**从侧面剖开的消化道内壁扫描图** The inner walls of alimentary canal：cross-section from the side（7×）. Scale bar = 3 mm.

Dh：**背凸** Dorsal hump；Pv：**幽门瓣** Pyloric valve；Sv：**贲门瓣** Stomodaeal valves.

图版Ⅱ Plate Ⅱ

1：**食道前端** The front of esophagus（260×）. Scale bar = 100 μm.

2：V-**形区和** V-**形脊内表面** V-shape belt and V-shape ridges（50×）. Scale bar = 100 μm.

3：**柳叶脊上的齿** The teeth on the lance ridges（260×）. Scale bar = 100 μm.

4：**扇形脊** Fan-shape ridges，Fr（50×）. Scale bar = 100 μm.

5：**不规则脊** Irregular ridges，Ir（50×）. Scale bar = 100 μm.

6：**第一和第二列扇形脊上的齿** The teeth on the first and second fan-shape ridges（260×）. Scale bar = 100 μm.

7：**前胃上的齿** The teeth on the proventriculus（260×）. Scale bar = 100 μm.

8：**贲门瓣** Stomodaeal valves，Sv（260×）. Scale bar = 100 μm.

In：Y **形贲门瓣的下半部分** Inferior half of stomodaeal valves；Su：Y **形贲门瓣的上半部分** Superior half of stomodaeal valves.

图版Ⅲ Plate Ⅲ

1：**贲门瓣上的齿** The teeth on the stomodaeal valves（1 600×）. Scale bar = 10 μm.

2：**围食膜** Peritrophic membrane，Pm（520×）. Scale bar = 10 μm.

3：**幽门瓣** Pyloric valve，Pv（180×）. Scale bar = 100 μm.

4：**幽门瓣内壁上的齿** The teeth on the inner walls of the pyloric valve（3 000×）. Scale bar = 10 μm.

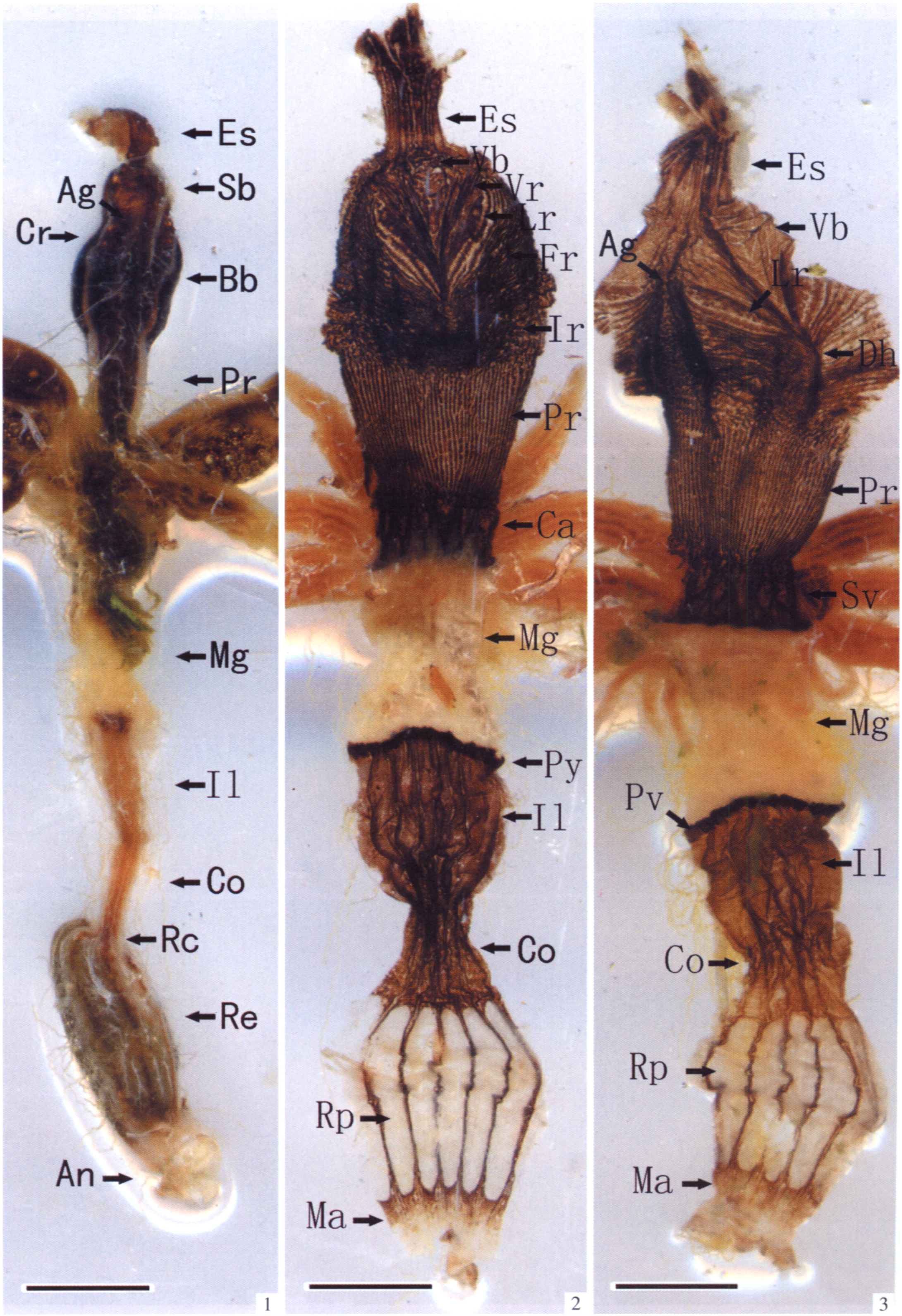
5：**结肠前端内壁上的齿** The teeth on the front of colon（3 000×）. Scale bar = 10 μm.

6：**结肠后端内壁上的齿** The teeth on the rear of colon（3 000×）. Scale bar = 10 μm.

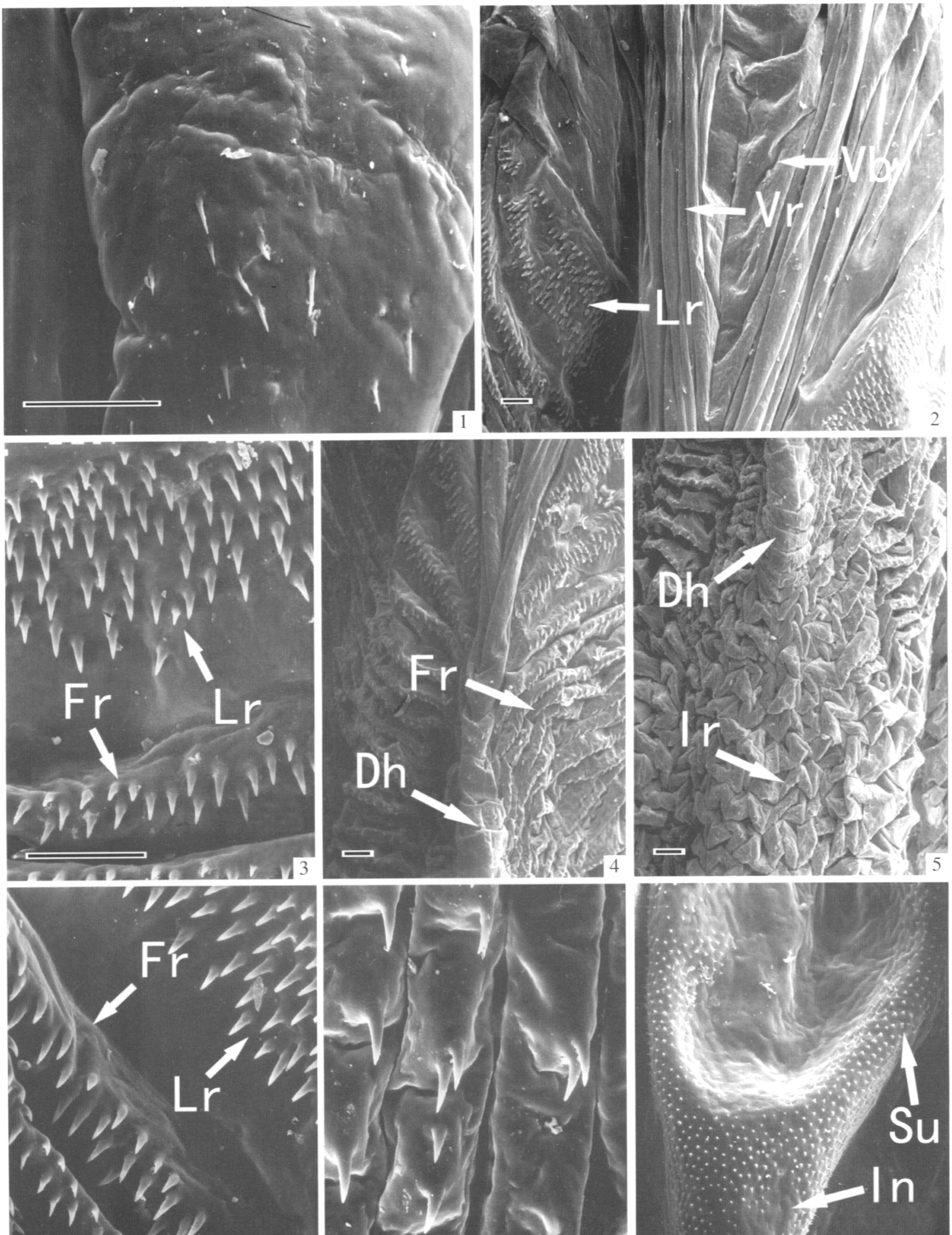
7：**直肠垫内壁的前端和附着环** The front of rectal pad and attachment ring（300×）. Scale bar = 100 μm.

Ar：**附着环** Attachment ring.

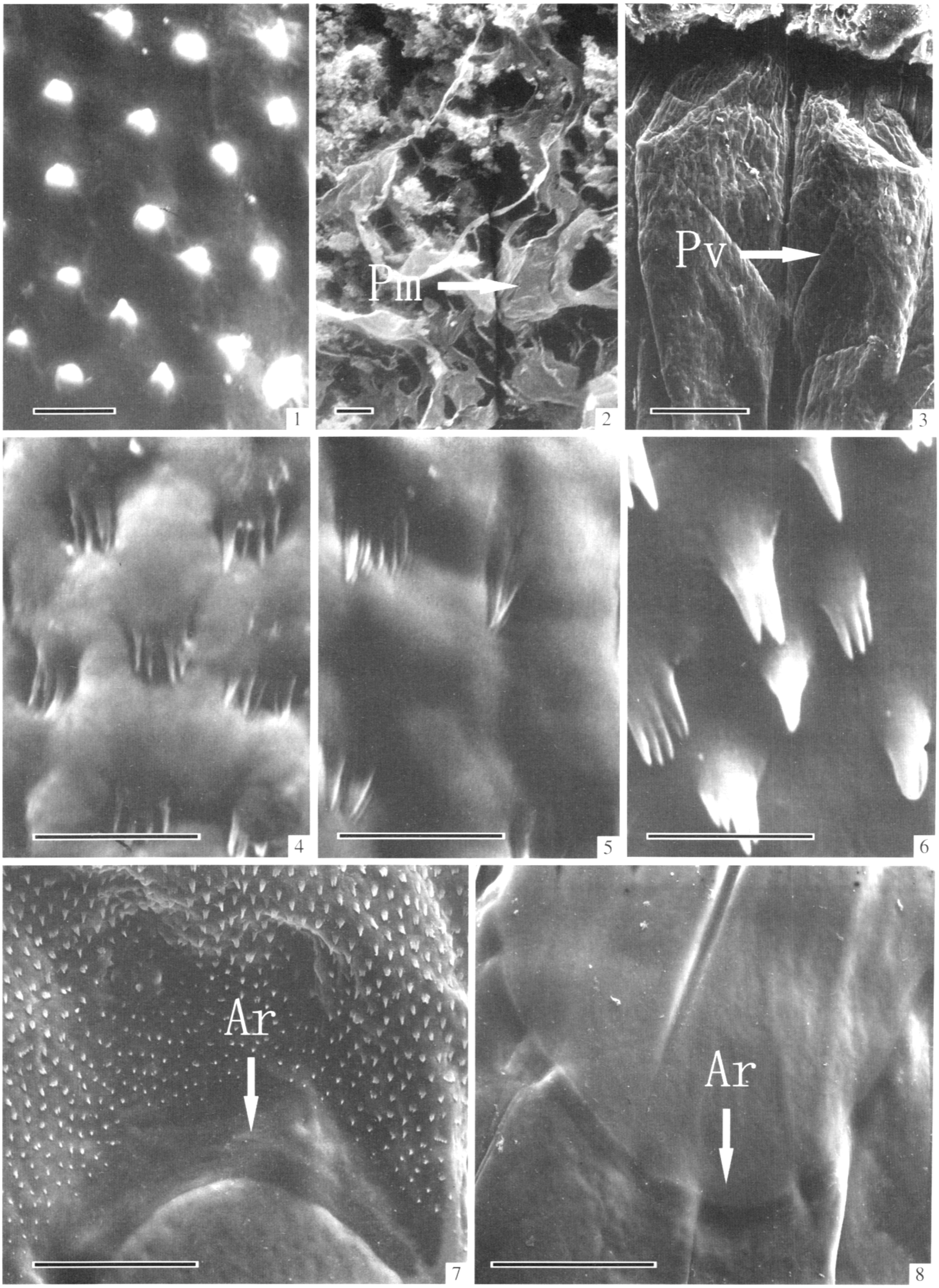
8：**直肠垫内壁的后端和附着环** The rear of rectal pad and attachment ring（300×）. Scale bar = 100 μm.



图版说明见文后 Explanation at the end of text



图版说明见文后 Explanation at the end of text



图版说明见文后 Explanation at the end of text